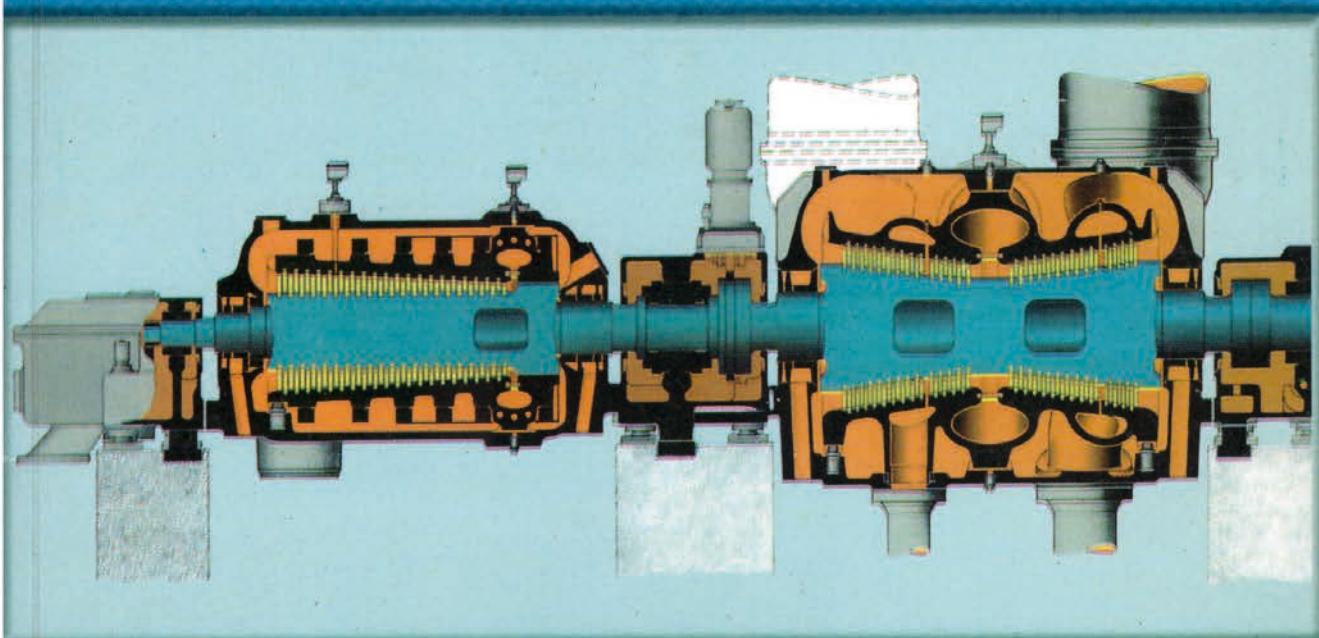


Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu  
Studentski kulturni centar Niš

Dragoljub Živković  
Živan Spasić  
Dejan Mitrović

# TOPLOTNE TURBOMAŠINE

Zbirka rešenih zadataka



Niš, 1998

UNIVERZITET U NIŠU – MAŠINSKI FAKULTET

Dragoljub Živković  
Živan Spasić  
Dejan Mitrović

## TOPLOTNE TURBOMAŠINE

*Zbirka rešenih zadataka*

---

NIŠ, 1998.

# TOPLOTNE TURBOMAŠINE – ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA (prvo izdanje)

## AUTORI

Dr Dragoljub Živković, docent Mašinskog fakulteta u Nišu

Mr Živan Spasić, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu

Dejan Mitrović, dipl.maš.ing., asistent-pripravnik Mašinskog fakulteta u Nišu

## RECENZENT

Dr Slobodan Laković, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu

## IZDAVAČ

Mašinski fakultet u Nišu i Studentski kulturni centar – Niš

## ZA IZDAVAČA

Dr Zoran Boričić, red.prof., dekan Mašinskog fakulteta u Nišu i

Nebojša Randelović, direktor Studentskog kulturnog centra – Niš

## UREDNIK

Aleksandar Blagojević

## ŠTAMPA

“BINA – PRESS”, Niš - Beograd

## TIRAŽ

300 primeraka

ISBN 86 – 7757 – 050 – 0

Na osnovu člana 55 Statuta Mašinskog fakulteta u Nišu, Nastavno–naučno veće, na sednici održanoj 05.06.1998.god., donelo je Odluku br. 74/1, kojom se usvaja izveštaj recenzenta i prihvata za štampu knjiga “TOPLOTNE TURBOMAŠINE – ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA”, autora dr Dragoljuba Živkovića, mr Živana Spasića i Dejana Mitrovića, dipl.maš.ing., kao udžbenika za studente mašinstva.

---

## SADRŽAJ

OZNAKE .....	1
1. STRUJANJE KOMPRESIBILNOG FLUIDA KROZ MLAZNIKE .....	5
2. PRORAČUN STEPENA KORISNOSTI NA OBIMU STUPNJEVA TOPLOTNIH TURBINA .....	41
3. PRORAČUN UNUTRAŠNJEG STEPENA KORISNOSTI STUPNJEVA TOPLOTNIH TURBINA .....	73
3.1. Proračun unutrašnjeg stepena korisnosti opšteg turbinskog stupnja .....	73
3.2. Proračun Kertisovog stupnja .....	95
3.3. Proračun Baumanovog stupnja .....	118
3.4. Proračun stupnjeva promenljive reaktivnosti .....	130
4. PRORAČUN TURBOKOMPRESORA .....	153
5. PROMENLJIVI REŽIMI RADA TOPLOTNIH TURBINA .....	189
5.1. Promenljivi režimi rada turbinskih stupnjeva .....	189
5.2. Promenljivi režimi rada toplotnih turbina .....	206
6. PRORAČUN VIŠESTUPNIH PARNIH I GASNIH TURBINA .....	211
6.1. Proračun višestupnih parnih turbina .....	211
6.2. Proračun višestupnih gasnih turbina .....	246
7. PRORAČUN ČVRSTOĆE DELOVA TOPLOTNIH TURBOMAŠINA .....	263
7.1. Proračun čvrstoće rotorskih lopatica .....	263
7.2. Proračun čvrstoće rotorskih diskova .....	273
7.3. Proračun čvrstoće dijafragmi sa statorskim lopaticama .....	288
7.4. Proračun čvrstoće rotora .....	292
8. ISPITNI ZADACI .....	303
9. LITERATURA .....	311
10. PRILOG .....	315

---

## PREDGOVOR

Knjiga, *TOPLOTNE TURBOMAŠINE – Zbirka rešenih zadataka*, namenjena je pre svega studentima mašinskih fakulteta koji izučavaju toplotne turbomašine, a to su: parne i gasne turbine i turbokompresori. Udžbenik je napisan prema programu predmeta Toplotne turbomašine koji se na Mašinskom fakultetu u Nišu predaje studentima na smeru za termoenergetiku i termotehniku. On može poslužiti i studentima drugih mašinskih fakulteta na smerovima za termotehniku, termo i hidro – energetiku radi savlađivanja gradiva iz oblasti toplotnih turbina i turbokompresora. Knjiga može biti od koristi i diplomiranim mašinskim inženjerima koji se u svojoj praksi susreću sa ovom vrstom mašina.

Pored proračunskih metoda do sada najčešće korišćenih kod nas, u knjizi je prikazan i proračun turbinskih stupnjeva po metodi Moskovskog energetskog instituta, kao i jedan broj kompjuterskih programa napisanih u programskom jeziku Fortran. Pored proračuna toplotnih turbomašina i njihovih delova, zasnovanih na analizi gasodinamičkih procesa, knjiga sadrži i izvestan broj rešenih zadataka iz oblasti proračuna čvrstoće lopatica, diskova, dijafragmi i vratila toplotnih turbomašina. Uključivanje i ovih zadataka po našem mišljenju je bilo neophodno da bi se naglasila interakcija koja postoji između radne materije i čvrste strukture mašine. Najveći broj rešenih zadataka predstavlja proračun sasvim realnih mašina i njihovih delova. Da bi se stekla što realnija slika o toplotnim turbomašinama, u prilogu su date tablice u kojima su prikazani rezultati proračuna nekoliko različitih vrsta ovih mašina proizvedenih u više desetina primeraka.

Osnovni cilj autora bio je da ponude materijal koji će studentima približiti složenu problematiku teorije toplotnih turbomašina i kroz rešavanje zadataka razjasniti vrlo složene pojave i procese u njima.

Veliku zahvalnost autori upućuju recenzentu ove knjige dr Slobodanu Lakoviću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Nišu, koji je rukopis veoma pažljivo pročitao i dao korisne primedbe.

Autori se takođe zahvaljuju dr Dragici Milenković i dr Božidaru Bogdanoviću, vanrednim profesorima Mašinskog fakulteta u Nišu, koji su pregledali deo knjige koji se odnosi na oblast turbokompresora. Zahvalnost autora zaslužuje i mr Dragan Milčić, asistent na Katedri za mašinske konstrukcije Mašinskog fakulteta u Nišu, koji je pročitao deo knjige u kome je prikazan proračun čvrstoće delova toplotnih turbomašina i dao korisne primedbe.

Za sliku na naslovnoj strani, na kojoj je prikazana skica kondenzacione parne turbine ABB – 550 MW, autori duguju zahvalnost predstavništvu firme ABB za Jugoslaviju.

Autori će biti zahvalni i svima onima koji budu uputili svoje primedbe i sugestije u cilju poboljšanja ovog udžbenika i one će kod sledećeg izdanja biti uzete u obzir.

U Nišu,  
januar 1998.god.

Autori



**Dr Dragoljub Živković**, redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, rođen je 26.03.1955. godine u Leskovcu. Osnovnu školu i gimnaziju na prirodno-matematičkom smeru završio je u Leskovcu sa odličnim uspehom. Oba puta je nagrađen diplomama „Vuk Stefanović-Karadžić“.

Na Mašinskom fakultetu u Beogradu, na smeru za temoenergetiku, diplomirao je 15.02.1980.godine odbranom diplomskog rada pod nazivom „Automatsko puštanje u rad parnog turbopostrojenja“. Magistarski rad pod nazivom „Dinamičko ponašanje parne turbine pri dejstvu zaštitnih uređaja“ odbranio je 1985. godine. Doktorsku disertaciju pod nazivom „Izučavanje dinamičkog ponašanja parnih turbina pri nestacionarnim režimima rada“ odbranio je 1993. godine. U okviru izrade doktorske disertacije boravio je školske 1985/

86. godine šest meseci na Mašinskom fakultetu Tehničkog Univerziteta u Pragu radi specijalizacije iz oblasti analize nestacionarnih procesa i višefaznih strujanja u termoenergetskim postrojenjima.

Dr Dragoljub Živković je na Mašinskom fakultetu u Nišu izabran za docenta 1993. godine, vanrednog profesora 1998. godine i redovnog profesora 2003. godine. Držao je nastavu iz većeg broja predmeta na osnovnim, master i doktorskim studijama iz oblasti termoenergetike, termotehnike i procesne tehnike. Bio je mentor većeg broja diplomskih i master radova, kao i tri magistrature i četiri doktorata. Dva urađena doktorata su 2019. i 2021. godine proglašeni za najbolje urađene doktorske disertacije u Srbiji iz oblasti mašinskog inženjerstva.

Profesor dr Dragoljub Živković je objavio 9 univerzitetskih udžbenika i zbirki zadataka, preko 200 radova u domaćim i međunarodnim časopisima, kao i na domaćim i međunarodnim naučnim konferencijama. Učestvovao je u realizaciji većeg broja nacionalnih i međunarodnih naučnih i inovacionih projekata.

Za izuzetan doprinos razvoju Mašinskog fakulteta i Univerziteta u Nišu nagrađen je Poveljom Mašinskog fakulteta 2021. godine i Srebrnim znakom Univerziteta u Nišu 2018. godine.